

PENGARUH PENAMBAHAN SULFUR DALAM ASPAL PADA BAHAN CAMPURAN HRA TERHADAP NILAI STRUKTURAL LAPISAN PERMUKAAN

Agus Taufik Mulyono *)

ABSTRACT

The usage of Hot Rolled Asphalt (HRA) which has gap gradation with high asphalt content (7% - 10%) as structure surface layer in the tropical region often caused bleeding. The bleeding can be decreased by adding the sulphur in asphalt so that asphalt will not melt easily and will not flow to the surface through the voids among aggregate.

The research was undertaken in the laboratory by using simulation of sulphur content in asphalt as much as 0%, 10%, 20% and 30% of weight of asphalt. Then they are mixed with varieties of the selected aggregate such as Cc = coarse aggregate crushed and fine aggregate crushed; Cr = coarse aggregate crushed and fine aggregate rounded; Rc = coarse aggregate rounded and fine aggregate crushed; Rr = coarse aggregate rounded and fine aggregate rounded. The next phase was utilized Marshall test to find out the stability value and to determine the coefficient of strength of the surface layer (a_1 value).

In each variety of the observed mixture the a_1 value tended to increase following the sulphur content increase, but the a_1 value decreased in the sulphur content of 10%. The Sulphur addition until 30% can strengthen the Hot Rolled Asphalt mixture Rr from the a_1 value = 0.3060 (sulphur content 0%) to the a_1 value = 0.3759 (sulphur content 30%). Thus, the efficiency of cost of Hot Rolled Asphalt production can be obtained because still use natural aggregate with thin pavement and also the bleeding can be avoided in the early design year.

PENGANTAR

Perumusan Masalah

Hot Rolled Asphalt (HRA) merupakan salah satu jenis konstruksi perkerasan lentur yang menggunakan gradasi agregat senjang (*gap gradation*), dengan kadar agregat kasar antara 40% sampai 70% serta kadar aspal antara 7,0% sampai 10,0% (BS 594,1985). Kondisi alam negara asal penemu HRA (Inggris) amat berbeda dengan Indonesia, sehingga sering sekali dijumpai beberapa ketimpangan pelaksanaan dan kenampakan yang amat berbeda jauh dengan hasil penelitian laboratorium. Hal ini terutama disebabkan oleh beberapa karakteristik dasar yang dimiliki HRA yaitu dengan gradasi senjang ada beberapa ukuran nominal butiran agregat yang dihilangkan sehingga terbentuk rongga antar butiran agregat yang cukup besar, selanjutnya rongga-rongga ini akan diisi oleh aspal. Kondisi yang demikian yang menyebabkan HRA memiliki kadar aspal yang lebih besar daripada *asphaltic concrete* yang bergradasi tertutup, sehingga HRA memiliki nilai durabilitas yang lebih lama.

Namun demikian harus diwaspadai bahwa aspal merupakan bahan yang bersifat termoplastik artinya tingkat kekerasan aspal amat dipengaruhi oleh perubahan temperatur. Pada temperatur yang tinggi, aspal mudah sekali mencair, akibatnya pada HRA sering terjadi *bleeding*, yang pada akhirnya tingkat

kenyamanan jalan makin menurun. Oleh karena itu pengaruh kenaikan temperatur dalam batas-batas tertentu agar tidak banyak mengurangi kualitas HRA sebagai lapisan permukaan struktural perlu penambahan zat aditif dalam aspal, diantaranya sulfur (belerang). Sulfur mempunyai tingkat viskositas yang lebih rendah pada temperatur pemadatan (135°C) bila dibandingkan dengan aspal. Dengan demikian aspal dicampur dengan sulfur maka campuran aspal sulfur akan mempunyai viskositas yang lebih rendah dari pada aspal saja pada temperatur pemadatan. Penambahan sulfur diharapkan akan mampu memperbaiki kekurangan sifat aspal pada viskositasnya serta dapat meningkatkan nilai struktural campuran HRA yang menggunakan agregat alam (*rounded*).

Keaslian Penelitian

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Mulyono A.T. (1992) yang mengkaji seberapa jauh pengaruh penambahan kadar sulfur dalam aspal pada campuran HRS (*hot rolled sheet*) sebagai lapis permukaan non struktural terhadap sifat-sifat *marshall*. Penelitian ini lebih dititikberatkan pada tinjauan pengaruh penambahan sulfur dalam aspal pada bahan campuran HRA untuk meningkatkan nilai struktural (nilai koefisien kekuatan relatif bahan) lapisan permukaan struktural dengan variasi agregat *crushed* dan *rounded*.

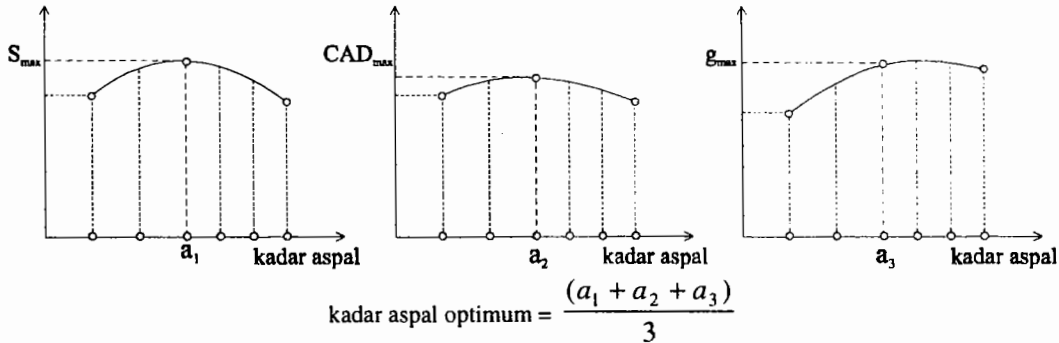
*) Ir. Agus Taufik Mulyono MT., Dosen Jurusan Teknik Sipil, FT UGM dan Peneliti pada Pusat Antar Universitas (PAU) Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan masukan kepada pihak pelaksana pembangunan jalan dengan konstruksi HRA agar dengan penambahan kadar sulfur dalam aspalnya akan menaikkan nilai struktural perkerasan terutama jika digunakan agregat alam (*rounded*) sebagai bahan susun campuran HRA. Kondisi yang demikian akan

LANDASAN TEORI

BS 594 (1985) menetapkan bahwa kadar aspal optimum dalam campuran HRA diperoleh dengan cara menentukan rerata nilai-nilai kadar aspal pada saat tercapai nilai stabilitas maksimum (S_{max}), nilai CAD (*compacted aggregate density*) maksimum dan nilai *mix density* maksimum (g_{max}), sebagaimana dapat dilihat dalam Gambar 1.



Sumber : BS 594 (1985)

Gambar 1. Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran HRA

menghemat biaya pembangunan jalan mengingat agregat pecah (*crushed*) dalam satuan meter kubik yang sama harganya jauh lebih mahal daripada agregat alam.

TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu nilai struktural perkerasan lentur, menurut AASHTO (1982) adalah nilai koefisien kekuatan relatif lapisan permukaan (nilai a_1), yang mana nilai ini amat tergantung dari nilai stabilitas *Marshall*.

Kennepohl et, al; (1975) menyatakan bahwa bahan campuran perkerasan dengan bahan ikat aspal bersulfur masih mengikuti sifat-sifat asli aspal dan stabilitas campuran naik sebanding dengan penambahan presentase sulfur, tetapi penambahan sulfur sampai 50% terhadap berat aspal akan terjadi emulsi yang tidak homogen sehingga nilai stabilitas campuran menjadi tidak merata.

Penambahan sulfur dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat dari bahan ikat aspal, tetapi bahan ikat yang bersulfur ini bila disimpan dalam keadaan cair terlalu lama akan terbentuk hidrogen sulfida terutama pada suhu di atas 149 °C, dan zat tersebut sangat merugikan bila dicampur dengan agregat (Kennepohl et, al; 1975).

Stabilitas tergantung dari gesekan antara batuan (*internal friction*), kohesi dan inersia sebagaimana telah dikemukakan oleh Hveem dan Vallergera dalam Sastroadinoto (1997). Gesekan internal tergantung dari tekstur permukaan agregat, bentuk agregat, kepadatan campuran dan jumlah aspal. Menurut *The Asphalt Institute*, MS-2 (1984) disebutkan bahwa stabilitas adalah kemampuan lapis keras dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadi deformasi permanen yang mana dalam terminologi tes *marshall* ditunjukkan oleh beban maksimum yang dapat didukung benda uji pada suhu 140 °F dengan kecepatan pembebanan 2 inci per menit, yang disajikan dalam persamaan 1.

$$S = p \times k \times t \quad (1)$$

dengan :

S = stabilitas campuran, (lbs)

p = nilai pembacaan arloji stabilitas pada alat *marshall*, (lbs)

k = kalibrasi *proving ring* pada alat *marshall*

t = koreksi tebal benda uji

$$CAD = \frac{c \cdot (100 - b)}{100 \cdot (d - e)} \quad (2)$$

$$g = \frac{c}{(d - e)} \quad (3)$$

dengan :

- CAD = *compacted aggregate density*, (gr/cm^3)
 g = *mix density*, (gr/cm^3)
 c = berat kering benda uji sebelum direndam, (gram)
 b = kadar aspal optimum terhadap campuran agregat aspal, (%)
 d = berat benda uji dalam keadaan SSD, (gram)
 e = berat benda uji di dalam air, (gram)

Indikasi kuantitatif nilai struktural lapis keras menurut AASHTO (1982) dan Bina Marga (1987) ditunjukkan dalam persamaan 4 dan persamaan 5.

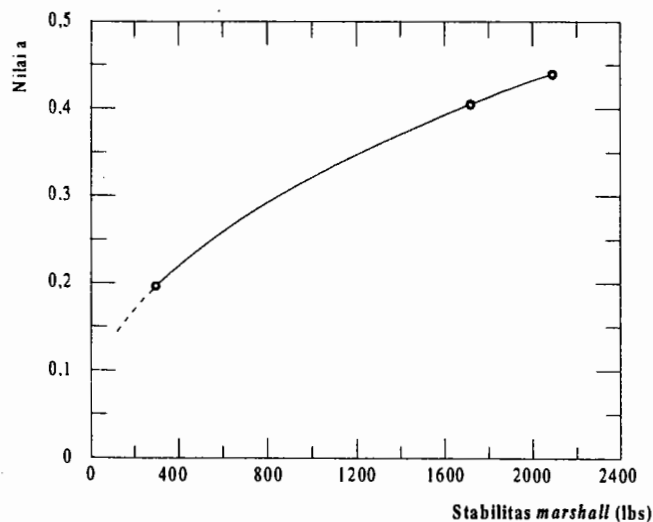
$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \text{ (AASHTO, 1982)} \quad (4)$$

$$\overline{ITP} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \text{ (Bina Marga, 1987)} \quad (5)$$

dengan :

- SN = *structural number*
 \overline{ITP} = indeks tebal perkerasan
 a_1, a_2, a_3 = nilai koefisien kekuatan relatif lapisan
 D_1, D_2, D_3 = tebal perkerasan tiap lapisan

Indek 1, 2, dan 3 masing-masing menunjukkan lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah. Hubungan antara nilai a_1 dengan stabilitas campuran agregat aspal menurut AASHTO (1982) dapat dilihat dalam Gambar 2.



Sumber : AASHTO, 1982

Gambar 2. Hubungan antara Stabilitas dengan Nilai a_1

Dari Gambar 2 tersebut dapat dicari hubungan secara matematis sebagaimana disajikan dalam persamaan 6.

$$a_1 = 0,0285 (S)^{0,35}$$

(6)

dengan :

- a_1 = koefisien kekuatan relatif lapisan permukaan
 S = stabilitas campuran agregat aspal, (lbs)

HIPOTESIS PENELITIAN

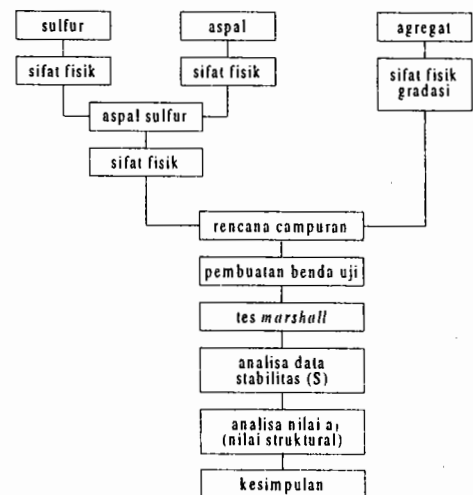
Penambahan kadar sulfur dalam aspal pada campuran HRA akan mampu meningkatkan nilai stabilitas campurannya sehingga akan meningkatkan nilai koefisien kekuatan relatif lapisan permukaan (nilai a_1). Kadar sulfur dalam aspal yang tidak melebihi 30% dari beratnya tidak akan merubah sifat-sifat fisik aspal, sehingga tetap dapat berfungsi sebagai bahan ikat dalam campuran HRA. Selain itu penggunaan sulfur tersebut akan mampu memperbaiki nilai a_1 campuran HRA yang menggunakan sebagian atau seluruhnya dengan agregat alam (*rounded*).

PROSES KERJA LABORATORIUM

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Transportasi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM pada bulan September – Oktober 1998 dengan proses kerja seperti pada Gambar 3. Penelitian ini dilakukan dalam kaitannya dengan tugas penyusunan membantu pengembangan pengujian bahan lapis keras pada laboratorium tersebut.

Bahan dan Peralatan Penelitian

Aspal yang digunakan adalah aspal jenis AC 80-100 yang diperoleh dari Dinas Bina Marga Kabupaten Sleman (hasil produksi PT Pertamina, Cilacap). Sulfur yang digunakan diperoleh di pasar Kranggan Yogyakarta (hasil olahan di daerah Panjen, Kabupaten Malang, Jawa Timur).



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian di Laboratorium

Agregat kasar dan halus masih dibedakan atas agregat alam (*rounded*) dan agregat pecah (*crushed*) yang diproduksi oleh PT Perwita Karya Yogyakarta, sumber material berasal dari daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Sebagai agregat pengisi (*filler*) digunakan semen *portland* dengan merek semen Nusantara.

Alat uji *marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) yang berkapasitas 2500 kg. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Selain itu terdapat arloji kelelahan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis, alat penunjang seperti penumbuk elektrik otomatis standar, bak perendam, termometer dan ejektor. Selain itu didukung alat uji bahan aspal dan agregat.

Persyaratan dan Pemeriksaan Bahan Penelitian

Prosedur pemeriksaan dan persyaratan aspal meliputi penetrasi aspal (AASHTO-T49-80), titik lembek (AASHTO-T53-81), titik nyala (AASHTO-T48-81), daktilitas (AASHTO-T51-81), dan kehilangan berat (AASHTO-T44-81).

Prosedur pemeriksaan dan persyaratan agregat meliputi analisis saringan agregat (AASHTO-T27-82 dan BS 594), berat jenis dan penyerapan (PB-0202-76), keausan agregat kasar (AASHTO-T96-77), kelekatan agregat kasar terhadap aspal (AASHTO-T182-82), *sand equivalent* agregat halus (AASHTO-T76-82).

Hasil pemeriksaan bahan penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 sampai Tabel 6, yang mana secara teknis bahan-bahan tersebut memenuhi syarat sebagai bahan penelitian.

Tabel 1. Hasil Rerata Pemeriksaan Agregat Kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat *)	Hasil Rerata
1.	Keausan dengan mesin Los Angeles (%)	maks. 40	22,5
2.	Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	min. 95	99
3.	Penyerapan agregat terhadap air (%)	maks. 3	2,5
4.	Berat jenis (gr/cc)	min 2,5	2,7

*) = AASHTO, 1982

Tabel 2. Hasil Rerata Pemeriksaan Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat *)	Hasil Rerata
1.	Nilai <i>sand equivalent</i> (%)	min. 50	75,70
2.	Penyerapan agregat terhadap air (%)	maks. 3	2,6
3.	Berat jenis (gr/cc)	min 2,5	2,65

*) = AASHTO, 1982

Tabel 3. Hasil Rerata Pemeriksaan *Filler*

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat *)	Hasil Rerata
1.	Nilai <i>sand equivalent</i> (%)	min. 50	86,30
2.	Penyerapan agregat terhadap air (%)	maks. 3	2,4
3.	Berat jenis (gr/cc)	0,5-0,9	0,65

*) = AASHTO, 1982

Tabel 4. Hasil Saringan Campuran Agregat

Ukuran lubang saringan	Persyaratan persentase lolos ukuran saringan standar terhadap total agregat (%) *)	Hasil persentase lolos ukuran saringan standar terhadap total agregat (%)
50,00 mm	100	100
37,50 mm	90 – 100	97
25,00 mm	70 – 100	80
20,00 mm	45 – 75	60
14,00 mm	30 – 65	50
10,00 mm	–	–
6,30 mm	–	–
2,36 mm	30 – 44	40
600 µm	10 – 44	30
212 µm	3 – 25	10
75 µm	2 – 8	5

*) = BS 594, 1985

Tabel 5. Hasil Rerata Pengujian Aspal AC 80-100

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat *)		Hasil Rerata
		Minimum	Maksimum	
1.	Penetrasi (25°C, 5 detik), (0,1 mm)	80	99	85
2.	Titik lembek (°C)	46	54	50
3.	Titik nyala (°C)	225	–	300
4.	Daktilitas (cm)	100	–	100
5.	Kehilangan berat (163°C, 5 jam), (% berat)	–	0,4	0,08

*) = AASHTO, 1982

Tabel 6. Hasil Rerata Pengujian Bahan Aspal dengan Kadar Sulfur Tertentu terhadap Berat Aspal

No	Jenis Pemeriksaan	Kadar sulfur dalam aspal				
		0%	10%	20%	30%	40%
1.	Penetrasi (25°C, 5 detik), (0,1 mm)	85	90	80	74	–
2.	Titik lembek (°C)	50	47	53	54	–
3.	Titik nyala (°C)	300	270	250	230	220
4.	Daktilitas (cm)	100	100	100	100	90
5.	Kehilangan berat (163°C, 5 jam), (% berat)	0,08	0,09	0,15	0,20	0,03

Perencanaan dan Pembuatan Benda Uji

Benda uji bahan campuran HRA bergradasi timpang, dilakukan dengan suhu pencampuran 165°C, suhu pemadatan awal 135°C. Variasi kadar sulfur dibuat dengan cara menambahkan sulfur pada

aspalnya secara panas dengan variasi penambahan kadar sulfur dari 0%, 10%, 20% dan 30% terhadap berat aspalnya. Ukuran maksimum nominal butiran 35 mm, dengan kadar agregat kasar 60%, agregat halus 35%, dan *filler* 5% terhadap total agregat, dengan 4 (empat) variasi jenis agregat yaitu Cc = agregat kasar *crushed* dan agregat halus *crushed*, Cr = agregat kasar *crushed* dan agregat halus *rounded*, Rc = agregat kasar *rounded* dan agregat halus *crushed*, dan Rr = agregat kasar *rounded* dan agregat halus *rounded*. Pembuatan benda uji dapat dilihat dalam Tabel 7.

Tabel 7. Benda Uji yang Disiapkan

Kode benda uji	Kadar agregat kasar thd total agregat	Kadar agregat halus thd total agregat	Kadar filler thd total agregat	Kadar aspal optimum thd total agregat	Kadar sulfur dalam aspal			
					0%	10%	20%	30%
Cc	60%	35%	5%	7,50	6	6	6	6
Cr	60%	35%	5%	7,45	6	6	6	6
Rc	60%	35%	5%	7,30	6	6	6	6
Rr	60%	35%	5%	7,25	6	6	6	6
Jumlah benda uji					96			

Pemadatan dan Pengetesan Marshall

Benda uji dipadatkan dengan alat pemadat otomatis pada sisi atas dan bawah masing-masing 75 kali dengan metode AASHTO-T245-74. Benda uji direndam dalam air selama 24 jam agar jenuh, kemudian dikeringkan, selanjutnya direndam dalam *water batch* pada suhu 60°C selama 30 menit, setelah itu benda uji dikeluarkan dari *water batch* dan selanjutnya dilakukan pengetesan *marshall* dengan metode AASHTO-T185-82 untuk mengetahui nilai stabilitas tiap benda uji. Persyaratan nilai stabilitas HRA yang diperoleh dari pengetesan *marshall*, menurut BS 594, 1985 berkisar dari 204 kg sampai 1020 kg dengan kriteria lalulintas seperti dalam Tabel 8. Selanjutnya hasil rerata nilai stabilitas dari pengujian *marshall* dapat dilihat dalam Tabel 9.

Tabel 8. Persyaratan Nilai Stabilitas Campuran HRA

No	Kriteria lalulintas (kendaraan komersial perlajur perhari)	Nilai stabilitas (kg)	Nilai a_1 *)
1.	< 1500 (lalulintas rendah)	204 – 408	0,2416 – 0,3080
2.	1500 – 6000 (lalulintas sedang)	408 – 612	0,3080 – 0,3548
3.	> 6000 (lalulintas tinggi)	612 – 1020	0,3548 – 0,4243

*) = dihitung dengan persamaan 6 dan Gambar 2

Analisis dan Hasil Penelitian

Dalam penelitian, nilai stabilitas (dalam satuan kg) dapat dihitung dengan persamaan 1 yang mana setelah dilakukan kalibrasi diperoleh persamaan 7 dan 8.

$$S = (h \times t) \times 0,4536, (h = \text{tebal benda uji}) \quad (7)$$

$$k = 2,7497 \times p^{0,9887} \quad (8)$$

Selanjutnya nilai koefisien kekuatan relatif lapisan permukaan (nilai a_1) diperoleh dengan persamaan 6 dan Gambar 2. Hasil penelitian ini dapat dilihat dalam Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Hasil Rerata Nilai Stabilitas (S) Campuran HRA

Jenis Campuran HRA	Cc (kg)	Cr (kg)	Rc (kg)	Rr (kg)
Kadar sulfur dalam aspal :				
0%	915,68	705,90	625,03	500,75
10%	872,14	686,91	603,80	482,80
20%	936,40	755,90	658,40	555,15
30%	1020,00	802,20	768,70	720,06

Tabel 10. Hasil Rerata Nilai a_1 Campuran HRA

Jenis Campuran HRA	Cc	Cr	Rc	Rr
Kadar sulfur dalam aspal :				
0%	0,4089	0,3733	0,3577	0,3298
10%	0,4020	0,3697	0,3534	0,3268
20%	0,4121	0,3823	0,3643	0,3432
30%	0,4243	0,3904	0,3808	0,3759

Pembatasan Parameter Penelitian

Dalam penelitian ini tidak meninjau campuran aspal sulfur secara kimiawi dan juga tidak meninjau batuan pecah dan batuan alam secara geologis. Perbandingan campuran agregat kasar, agregat halus dan *filler* dalam campuran HRA diambil secara proporsional dalam BS 594 (1985).

PEMBAHASAN

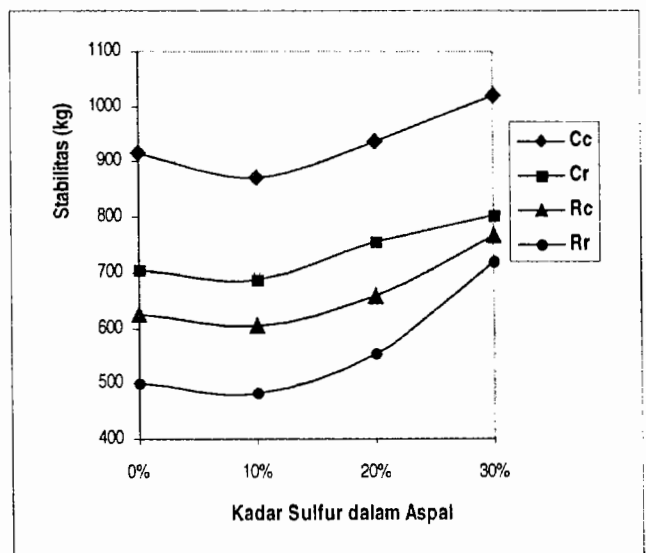
Tabel 6 menunjukkan bahwa penambahan kadar sulfur dari 0% sampai 30% terhadap berat aspal ternyata tidak merubah sifat fisik aspal, sedangkan penambahan kadar sulfur yang melebihi 30% sangat mempengaruhi daktilitas kurang dari 100 cm dan titik nyala di bawah 225°C. Pada kadar sulfur 40% tersebut, kondisi aspal menjadi lebih getas dan mudah sekali terbakar, sehingga campuran aspal sulfur 40% ini tidak dapat digunakan sebagai bahan ikat dalam campuran HRA.

Hubungan kadar sulfur dalam aspal terhadap nilai stabilitas dan nilai a_1 campuran HRA dapat dilihat dalam Gambar 4 dan Gambar 5. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa nilai stabilitas campuran HRA cenderung meningkat dengan kenaikan kadar sulfur kecuali pada kadar sulfur 10% justru nilai stabilitas menurun pada semua variasi campuran HRA.

Penambahan sulfur dalam aspal berakibat menurunkan nilai penetrasi aspal dan menaikkan titik lembek aspal, hal ini terutama disebabkan adanya peristiwa kristalisasi sulfur dalam aspal, dan kristalisasi ini menyebabkan modulus elastik aspal bertambah besar. Pada kadar sulfur 10% dalam aspal terlihat bahwa sulfur belum mengalami kristalisasi, kristalisasi terjadi pada kadar sulfur 20% sampai 30% dalam aspal. Kenaikan modulus elastik aspal akibat kristalisasi sulfur di dalam aspal, hal ini menyebabkan tingkat kekerasan aspal semakin bertambah sehingga lapisan film aspal yang mengisi rongga-rongga antara permukaan butiran tidak mudah mengalir karena pengaruh suhu pemanasan, sebaliknya film aspal ini akan menjadi bahan ikat yang kuat antar butiran agregat dan kondisi yang demikian akan memperkuat kompaksi campuran HRA yang bergradasi timpang. Jika dibahas secara rinci pada tiap variasi agregat campuran HRA dalam Gambar 4, tampak sekali pada setiap persentase sulfur dalam aspal tertentu ternyata nilai stabilitas jenis Cc lebih besar daripada nilai stabilitas jenis Cr, dan nilai stabilitas jenis Cr lebih besar daripada nilai stabilitas jenis Rc serta nilai stabilitas jenis Rc lebih besar daripada nilai stabilitas jenis Rr. Hal ini erat kaitannya dengan pengaruh tekstur permukaan agregat, jumlah aspal yang mengisi rongga-rongga dalam agregat dan rongga-rongga antar permukaan agregat terhadap nilai stabilitas campuran. Makin kasar tekstur permukaan agregat (agregat *crushed*) maka antar agregat saling mengunci dengan bidang kontak yang luas sehingga rongga-rongga antar agregat makin kecil, dan film aspal yang mengisi rongga-rongga ini makin tipis dan akibatnya kondisi campuran makin kuat dan kompak. Hal ini berlaku sebaliknya jika tekstur permukaan agregat yang halus (agregat *rounded*) maka antar agregat bersinggungan dengan bidang kontak yang kecil, rongga antar agregat besar dan film aspal menjadi tebal, akibatnya diperoleh kondisi campuran yang tidak kompak. Fenomena-fenomena tersebut menyebabkan nilai stabilitas campuran HRA jenis Cc lebih besar daripada nilai stabilitas campuran HRA jenis Cr, dan nilai stabilitas campuran HRA jenis Cr lebih besar daripada nilai stabilitas campuran HRA jenis Rc, serta nilai stabilitas campuran HRA jenis Rc lebih besar daripada nilai stabilitas campuran HRA jenis Rr.

Berdasarkan AASHTO (1982) disebutkan bahwa nilai a_1 (koefisien kekuatan relatif lapisan permukaan) berbanding langsung secara non-linear dengan nilai stabilitas, sehingga fenomena-fenomena yang mempengaruhi nilai stabilitas secara langsung akan mempengaruhi nilai a_1 . Kondisi demikian dapat dilihat

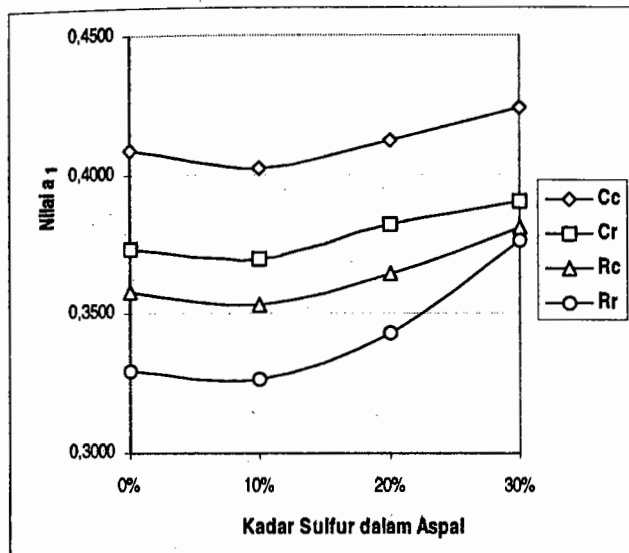
lebih jelas dalam Gambar 5 yang menghasilkan fenomena penting yaitu pada setiap kadar sulfur dalam aspal tertentu maka nilai a_1 campuran HRA jenis Cc lebih besar daripada nilai a_1 campuran HRA jenis Cr, nilai a_1 campuran HRA jenis Cr lebih besar daripada nilai a_1 campuran HRA jenis Rc serta nilai a_1 campuran HRA jenis Rc lebih besar daripada nilai a_1 campuran HRA jenis Rr. Apa yang diuraikan di atas cukup dapat membuktikan kebenaran hipotesa bahwa penambahan kadar sulfur dalam aspal akan mampu memperbaiki nilai struktural HRA yang menggunakan batuan alam (*rounded*). Sebagai contoh dapat dilihat dari Gambar 5 dan Tabel 10, HRA jenis Rr pada kadar sulfur 0% dalam aspal mempunyai nilai $a_1 = 0,3060$ (dalam kategori untuk lalulintas rendah) tetapi dengan penambahan kadar sulfur 10% dan 20% dalam aspal ternyata nilai a_1 masing-masing 0,3268 dan 0,3432 (dalam kategori untuk lalulintas sedang). Demikian juga dengan penambahan kadar sulfur 30% dalam aspal ternyata nilai a_1 campuran HRA jenis Rr mencapai 0,3759 (dalam kategori untuk lalulintas tinggi), sehingga hal ini memberikan implikasi bahwa penambahan kadar sulfur 30% dalam aspal ini memberikan efisiensi pembuatan konstruksi HRA karena agregat jenis Rr jauh lebih murah daripada jenis Cc maupun Cr dan Rc. Berdasarkan persamaan 4 dan persamaan 5, maka pada setiap kadar sulfur tertentu dalam aspal akan diperoleh perbedaan tebal lapisan HRA yang cukup signifikan antara HRA jenis Cc, Cr, Rc, dan Rr pada tinjauan beban lalulintas yang sama, sebagaimana dapat dilihat dalam Tabel 11.



Gambar 4. Pengaruh Penambahan Kadar Sulfur dalam Aspal terhadap Nilai Stabilitas Campuran HRA

Tabel 11. Tebal Tiap Jenis HRA pada Tinjauan Nilai SN yang Sama (= 5,0)

Jenis Campuran HRA	Cc (cm)	Cr (cm)	Rc (cm)	Rr (cm)
Kadar sulfur dalam aspal :				
0%	12,33	13,39	13,98	14,50
10%	12,43	13,52	14,15	15,29
20%	12,03	13,07	13,73	14,57
30%	11,70	12,80	13,13	13,30



Gambar 5. Pengaruh Penambahan Kadar Sulfur dalam Aspal terhadap Nilai a_1 Campuran HRA

KESIMPULAN

Beberapa rangkuman hasil penelitian yang penting terutama dikaitkan dengan hipotesis penelitian adalah sebagai berikut :

1. Penambahan kadar sulfur dari 0% sampai 30% terhadap berat aspalnya ternyata tidak merubah sifat fisik aspal. Penambahan kadar sulfur 40% terhadap berat aspalnya akan mempengaruhi daktilitas kurang dari 100 cm dan titik nyala dibawah 225° C.
2. Penambahan sulfur dalam aspal berakibat menurunkan nilai penetrasi aspal dan menaikkan titik lembek aspal. Hal ini disebabkan kristalisasi sulfur dalam aspal, kristalisasi ini terjadi pada kadar sulfur 20% sampai 30% terhadap berat aspalnya.

3. Penambahan kadar sulfur dalam aspal dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran HRA baik pada jenis Cc, Cr, Rc, dan Rr. Nilai struktural berbanding langsung secara non-linear dengan nilai stabilitas sehingga dengan makin besar kadar sulfur dari 0% sampai 30% dalam aspal akan mampu menambah nilai struktural (nilai koefisien kekuatan relatif lapisan permukaan) campuran HRA. Kondisi yang demikian sangat bermanfaat terutama untuk HRA yang sebagian besar banyak menggunakan agregat alam (*rounded*). Hal tersebut akan dapat menghemat biaya pembuatan konstruksi HRA karena dengan nilai struktural makin tinggi maka ketebalan lapis HRA makin tipis dan penggunaan agregat alam jauh lebih murah daripada agregat pecah.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1982, *Standard Spesifications for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing*, Part 1, Specifications, 13th Edition, page 10-180, Washington, D.C.
- Asphalt Institute, 1984, *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types (MS-2)*, The Asphalt Institute Building College Park, Maryland.
- British Standard/BS. 594, 1985, *Specification for Constituent Materials and Asphalt Mixtures, Hot Rolled Asphalt for Road and Other Paved Areas*, Ministry of Transportation, London.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1987, *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen*, SKBI – 2.3.26, UDC : 652.73 (02), Biro Penerbit PU, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Kennepohl G.J.A., Logan A., and Bean D.C., 1975, *Conventional Paving Mixes with Sulphur Asphalt Binders*, Asphalt Paving Technologists, Volume 44 pages 485-518, London.
- Mulyono A.T., 1992, *Pengaruh Penambahan Kadar Sulfur dalam Aspal pada HRS terhadap Sifat-sifat Marshall*, Media Teknik Majalah Catur Wulan Fakultas Teknik UGM, Nomor 2 dan 3 Tahun XIV, halaman 8-15, Yogyakarta.
- Sastroadinoto S. (1997), *Personal Contact*.